

## Reflections and Physical-Mathematical Connections: A bibliographical review highlighting equivalences between mass-energy

### Reflexões e Conexões Físico-matemáticas: Uma revisão bibliográfica destacando equivalências entre massa-energia

Article Info:

Article history: Received 2022-03-24 / Accepted 2022-05-25 / Available online 2022-05-25

doi: 10.18540/jcecv18iss5pp14290-01e

**Jhosefy Conde Martins Amaral**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5722-1603>

International University Center-UNITER, Brazil

E-mail: [jhosefy1717@gmail.com](mailto:jhosefy1717@gmail.com)

**Abel Ferreira Gomes Neto**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4273-9343>

Federal Institute of Education, Science and Technology of Pará, Brazil

E-mail: [abel.neto@ifpa.edu.br](mailto:abel.neto@ifpa.edu.br)

#### Resumo

O presente estudo tem como objetivo analisar as relações existentes entre Física e Matemática, demonstrando que os conteúdos estão plenamente conectados e analisar as implicações que surgem a partir de equações aplicadas à Física, mais especificamente, com um tratamento delicado com a Equação da Relatividade Restrita ( $E=m.c^2$ ), Além de contribuir com a pesquisa bibliográfica para que Professores de áreas afins possam ponderar a possibilidade de interação entre Física e Matemática. Com base em uma pesquisa bibliográfica, obteve-se como resultado que as noções básicas de Física podem ser construídas por intermédio da modelagem matemática, e interpretadas na forma de equações e funções matemáticas. Pode-se concluir que na construção de fundamentos da Física utiliza-se a linguagem matemática como forma de representação de abstração e realidade, teoria e prática. Com a equação ( $E=m.c^2$ ) pôde-se refletir sobre problemas que existem com relação às explorações espaciais e seu uso bélico, além de estabelecer também a importância do estudo de equações como ferramentas úteis para o conhecimento e a capacidade de realizar previsões no que diz respeito ao mundo ao nosso redor.

**Palavras-chave:** Relatividade. Restrita. Matemática. Física. Convergências.

#### Abstract

The present study aims to analyze the existing relationships between Physics and Mathematics, demonstrating that the contents are fully connected and analyzing the implications that arise from equations applied to physics more specifically with a delicate treatment with the equation of restricted relativity ( $E=m.c^2$ ). In addition to contributing to bibliographic research so that teachers in related fields can consider the possibility of interaction between Physics and Mathematics. Based on bibliographical research, it was obtained as a result that the basic notions of Physics can be built through mathematical modeling and interpreted in the form of equations and mathematical functions. It can be concluded that in the construction of the foundations of Physics, mathematical language is used as a form of representation of abstraction and reality, theory and practice. With the equation ( $E=m.c^2$ ) it is possible to reflect on problems that exist in relation to space exploration and its use in war, in addition to establishing the importance of the study of equations as useful tools for knowledge and the ability to perform predictions regarding the world around us.

**Keywords:** Relativity. Restricted. Math. Physics. Convergences.

## 1. Introduction

Em alguns aspectos a Matemática pode ser compreendida como uma forma de linguagem, ou seja, um instrumento capaz de possibilitar, por exemplo, que um observador compreenda determinado fenômeno (Silva, 2017).

Nesta mesma linha de pensamento, a Física é definida como a ciência que permite o estudo dos fenômenos da natureza. No entanto, ainda que um observador possa fazer a leitura de um dado fenômeno físico, para o entendimento aprofundado acerca dessa observação, geralmente, necessita-se mais que uma visão holística, é importante a leitura matemática do fenômeno (Pietrocola, 2005).

Assim, considerando a profunda relação entre Física e Matemática, o presente trabalho discute conexões entre tópicos dessas áreas de conhecimento, apresentando aspectos teóricos da Matemática os quais possam ser aplicados à Física. Tal discussão é desenvolvida com foco na demonstração do uso da Matemática aplicada à relação entre massa e energia proposta por Einstein em seu artigo sobre a relatividade restrita, publicado em 1905, intitulado: “A inércia de um corpo depende da sua quantidade de energia?”.

Esta discussão provém de percepções obtidas no decorrer da trajetória acadêmica envolvendo interdisciplinaridade entre Física e Matemática. Portanto, pode-se afirmar que na construção de fundamentos da Física utiliza-se a linguagem matemática como forma de representação de abstração e realidade, bem como possibilitando a correspondência entre a teoria e prática. O presente estudo tem como principal estrutura uma pesquisa bibliográfica, feita através de buscas de artigos e livros, na plataforma Google Acadêmico e no acervo bibliográfico pessoal dos autores tendo como principal base para o seu desenvolvimento o livro “Física e Matemática: aproximações” de Otto Henrique Martins da Silva. Para ressaltar os impactos que as formulações de equações promovem a sociedade, por mais abstrato que possa parecer. Utilizou-se livros de autores renomados, entre eles estão “Cosmos” e “Variedades da experiência científica”, ambos de Carl Sagan. Também estão “*The Feynman Lectures on Physics*” de Richard Feynman e “Dezessete equações que mudaram o mundo”, de Ian Stewart. Com essa revisão bibliográfica corrobora-se a ideia de conexões entre Física e Matemática e também pode servir como material de apoio que professores de áreas afins possam ponderar a possibilidade de correlacionar as disciplinas de física e matemática, visto que, a interdisciplinaridade propicia um certo benefício no processo de ensino-aprendizagem nos mais diversos níveis de formação.

## 2. Referencial teórico

Segundo Silva (2017), dois dos grandes campos do conhecimento, a Matemática e a Física, apresentam afinidades históricas e filosóficas. Isso se deve as metas, orientações e fundamentos existentes entre as duas disciplinas, onde a Física recorre a Matemática como elemento fundamental para o seu desenvolvimento. Essa correlação entre Matemática e Física pode ser encontrada em diversos tópicos, dado que a Física emprega a linguagem matemática, em suas aplicações.

Da mesma maneira, segundo Feroni e seus coautores (2016), pode-se dizer que se encontra uma vasta aplicabilidade de assuntos pertencentes às duas disciplinas, a exemplo das funções do 2º grau, onde se tem correlações entre duas variáveis, sendo uma dependente e outra independente, de modo que esta última tenha ordem 2. Esse entendimento também pode ser apresentado paralelamente à modelagem gráfica, pois a obtenção de valores em que uma função atinge pontos de máximos ou mínimos é de numerosa importância se analisarmos um lançamento oblíquo, o qual ocorre no formato de uma parábola.

A trigonometria é outra ferramenta matemática demonstrada por esses autores, e a mesma se mostra fundamental ao estudo da Física. Essa importância se dá pelo cálculo de ângulos e funções trigonométricas como seno, cosseno e tangente. Através dela pode-se estudar, demonstrar e calcular, por exemplo, o movimento do som que se dá de forma ondulatória. O assunto também se encaixa em fenômenos óticos, como é o caso da difração e os ângulos dos feixes de entrada e saída da luz. Além disso, pode-se também utilizar os seguintes tópicos: movimento circular, ao se determinar o

valor da velocidade angular média, física quântica, entre outros. No que diz respeito à geometria, pode-se afirmar que está relacionada com áreas e volumes das formas geométricas. As figuras geométricas que são encontradas com maior frequência nos estudos referentes à Física são: as parábolas, que auxiliam na identificação e determinação de possíveis pontos da trajetória de um projétil e circunferência, que se mostra uma colaborada apreciável aos estudos das trajetórias em movimentos que apresentam características circulares e uniformes. Noções e operações que envolvam vetores são de extrema importância para o estudo dos movimentos pois, a partir deles, é possível determinar o módulo, a direção e o sentido de uma força tornando-se assim uma das ferramentas de maior importância ao estudo da Física. Os estudos de funções logarítmicas de base 10 apresentam também uma grande importância, pois podem ser diretamente aplicadas em estudos do som, como exemplo, o decibel (dB) que é nitidamente uma grandeza que assume em sua forma uma unidade logarítmica bastante agregada nos estudos do som e em telecomunicações. Outro campo importante da Matemática é a Estatística, uma sequência de metodologias que possibilita a descrição, análise e visualização antecipada de certos fenômenos aleatórios. Dessa forma, a Estatística mostra-se uma ferramenta bastante utilizada na análise de experimentos físicos, além de ser diariamente empregada em diversas circunstâncias como, por exemplo, sua presença no cálculo do consumo médio de água ou de energia no que diz respeito à economia. Na área referente à saúde, apresenta-se como uma ferramenta adequada ao estudo de epidemiologia e na bioestatística. Nas engenharias, mostra-se um fator determinante na melhoria ou no projeto de um determinado produto. Nas Ciências políticas, auxilia na análise de gastos militares ou indicadores socioeconômicos. Nas relações internacionais, compreende os estudos das vulnerabilidades dos principais países do mundo, e assim por diante. (FUNAG, 2016)

Segundo Silva (2017), existe uma aplicação de diversos cálculos matemáticos à Física, porém a presença da Matemática na Física não se restringe apenas ao uso de equações e de aplicações referentes ao cálculo, pois nota-se um vínculo intrínseco tanto histórico quanto epistemológico que pode ser encontrado desde a gênese dessas ciências.

Se analisarmos do ponto de vista da presença da Física no desenvolvimento do pensamento matemático chegamos à conclusão de que não há aplicações intrínsecas da Física na Matemática pois, como Silva (2017) conta em Matemática e Física: aproximações “A matemática a princípio não é um campo de aplicações de conceitos físicos, embora seja uma ferramenta para expressar os fenômenos naturais, a matemática transcende a sua própria natureza fenomenológica”.

A hierarquia existente do conhecimento abstrato sobre o conhecimento concreto pode ser encontrada nas palavras do filósofo, matemático e lógico do século XX, Bertrand Russell, segundo o qual:

A história da ciência prova sobejamente que um corpo de proposições abstratas – mesmo que, como seções cônicas, fique dois mil anos sem afetar a vida cotidiana- pode, a qualquer momento, ser usado para causar uma revolução nos pensamentos e ocupações habituais de todo cidadão. Só a matemática tornou possível o uso do vapor e da eletricidade[...] A experiência não oferece qualquer meio de resolver que partes da matemática serão úteis. A utilidade, por tanto, só pode ser um consolo em momentos de desânimo e não guia a orientar nossos estudos. (Russell, 1977, citado por Karam, 2007)

No ensino da Física, a linguagem matemática é frequentemente apontada como um dos maiores influenciadora de êxito ou fracasso escolar. É uma alegação bastante a de que seus discentes não compreendem assuntos relacionados à Física por conta das debilidades de compreensão do desenvolvimento de conhecimentos matemáticos corriqueiros por seus docentes (Silva, 2017).

### 3. Metodologia

O presente estudo tem como principal estrutura uma pesquisa bibliográfica, feita através de buscas de artigos e livros, na plataforma Google Acadêmico, além de consulta ao acervo bibliográfico pessoal, tendo como principal base para o seu desenvolvimento o livro “Física e

Matemática: aproximações” de Otto Henrique Martins da Silva. Para ressaltar os impactos que as formulações de equações promovem à sociedade, por mais abstrato que possa parecer. Utilizou-se livros de autores renomados, entre eles estão: *Cosmos e Variedades da experiência científica* de Carl Sagan, *The Feynman Lectures on Physics* de Richard Feynman e *Dezesseis equações que mudaram o mundo* de Ian Stewart. A revisão bibliográfica tem como objetivo analisar as relações existentes entre Física e Matemática, demonstrando que os conteúdos estão plenamente conectados, colocando um destaque para o uso de equações matemáticas à modelagem de equações físicas como a relação existente entre a massa de um objeto e sua energia, ressaltando a ideia da existência de uma hierarquia entre Física e Matemática.

### 3. Metodologia

Por meio da presente pesquisa bibliográfica pôde-se analisar e solidificar ainda mais algumas relações que existem entre Física e Matemática e estabelecer que impactos os estudos de equações matemáticas promoveram à Física. Pôde-se analisar as implicações que surgem a partir de equações aplicadas à Física com a equação da relatividade restrita ( $E=mc^2$ ). Com essa equação, pode-se refletir sobre problemas que existem com relação as explorações espaciais e seu uso bélico, além de estabelecer também a importância do estudo de equações como ferramentas úteis para o conhecimento e a capacidade de realizar previsões no que diz respeito ao mundo ao nosso redor. As discussões da revisão bibliográfica contornam dois eixos, um voltado para educação e outro para Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA).

É quase um consenso a afirmação de que o sucesso no aprendizado do ensino da Física se dá por uma boa linha de pensamento matemático que deve ser desenvolvido no anteceder do ensino da Física propriamente dita (Pietrocola, 2002).

Ao analisarmos mais de perto esse argumento nota-se, mediante ao que já foi exposto acima, que há um papel de extrema importância desempenhado pelo conhecimento matemático no que diz respeito a constituição intrínseca do conhecimento desenvolvido pela Física, devido apresentar uma linha de pensamento que compõe os alicerces das ciências naturais. Portanto, permanece inabalado a imortal hierarquia entre o concreto e o abstrato, e entre a razão e a experiência (onde no topo da pirâmide há sempre um lugar reservado ao conhecimento abstrato). Ela ainda afirma que isto se constitui num "drama entre o real e o abstrato simbólico" (Paty, 1989).

A matemática pode ser considerada como a própria essência da realidade, sendo a Física o método de atingi-la. No entanto, muitos a reduzem apenas como um objeto do método empírico, e que este sim pode ser considerado a causa da maior parte do conhecimento possível referente a realidade.

Pietrocola (2002) nos diz que a Matemática, hoje mais do que nunca, está alojada de forma definitiva no seio da Física e isso é um fato incontestável. Fato esse, que fica bastante lúcido ao nos depararmos com os produtos que são considerados de atividades científicas. Dentre outros, nos livros e em artigos, nota-se que a Matemática circunda o discurso científico por meio de elementos como funções, equações, gráficos, vetores, tensores, inequações, geometrias, entre outros.

Em todos os níveis de ensino não há dúvidas entre Professores de que sem a sapiência em Matemática (não se restringindo a apenas saberes mais básicos, mais sim uma análise aprofundada e lógica, não somente superficial da área) é impossível praticar com êxito métodos relacionados à Física. Esse fator é tão importante que em sua maioria, nos cursos básicos, tem havido uma dedicação à formação de uma sólida base matemática sobre a qual os conhecimentos físicos possam ser construídos. Se refletirmos sobre as primeiras etapas dos cursos universitários tradicionais (Bacharelado e Licenciatura), vemos que disciplinas eminentemente físicas compartilham em seus currículos várias disciplinas de cunho matemático. E isso é tão evidente que apenas pela estruturação curricular pode ser muito difícil saber tratar-se de um legítimo curso de Física. Acontece que, muitas vezes essa indiferenciação acaba sendo responsável pela desmotivação de parte dos alunos que

ingressam em tais cursos, por acharem que há pouca ênfase no conhecimento que elegeram como formação profissional. (Silva, 2017)

Como já disse Ian Stewart no livro *Dezessete equações que mudaram o mundo*, “equações são a seiva vital da matemática, da ciência e da tecnologia”. Pela existência delas, o mundo se formou e se desenvolveu como é hoje. Mesmo com toda a importância atribuída às equações, elas ainda são vistas como “monstros”. Um exemplo dessa situação podemos notar nas orientações dos editores de Stephen Hawking para que diminuísse a quantidade de equações em seu livro *Uma breve história do tempo*, pois segundo eles, cada equação faria cair pela metade as vendas do livro. Porém os orientadores acabaram permitindo que Hawking acrescentasse a fórmula  $E = m.c^2$ , que Einstein desenvolveu para Teoria da Relatividade. Mas segundo eles, se essa fórmula não aparecesse no livro, provavelmente, teriam lucrado com mais 10 milhões de exemplares vendidos. Por um lado, os editores agem de forma plausível, quando optam por diminuir essa quantidade de fórmulas, pois o fato de elas terem aparência de algo muito complicado, acaba por afastar alguns leitores. Por outro lado, Hawking também tem sua razão em querer colocá-las pois tem ciência de sua importância para a construção científica.

Para compreender o papel que as equações desempenham no mundo atual, não se faz necessário ter uma capacidade intelectual extraordinária. As equações desempenham um papel crucial na construção do mundo contemporâneo. Essa influência pode ser percebida desde épocas remotas como no século XVI, com as Grandes Navegações, passando pela manipulação de ondas mecânicas (música), ondas eletromagnéticas (luz), pela criação da bomba de hidrogênio liderada por Robert Oppenheimer, até as intenções de explorações espaciais em outros mundos.

Segundo Stewart (2012), quando se estuda equações encontram-se dois tipos, em uma análise exploratória podem confundidas por serem muito semelhantes. Uma delas aborda as interações que ocorrem entre inúmeras grandezas, tendo como principal objetivo provar veracidade da equação. O outro tipo de equação ilustra uma grandeza que, por enquanto, ainda é desconhecida, tendo como principal objetivo matemático, conhecê-la, ou seja, converter o que é desconhecido em conhecido. Ressalta-se que as divergências entre os tipos não são nítidas e isso se deve em muitas ocasiões pelo fato de que uma mesma equação pode ser utilizada de maneiras diferentes. Uma equação não é a resposta de um problema, ela é uma maneira de se obter a resposta, e existem várias maneiras que se obter essa resposta, assim como um algoritmo de computador que pode ser escrito em várias linguagens e ainda resolver o mesmo problema.

Considerando os fundamentos da estrutura básica e lógica da matemática pode-se dizer que na matemática pura, as equações do primeiro tipo são usadas frequentemente pois revelam de uma forma mais reentrante as regularidades e os padrões que a natureza revela. Por exemplo para o Teorema de Pitágoras, que é uma equação que expressa a linguagem matemática na forma de geometria, basta analisar as premissas abordadas por Euclides em “Os Elementos” e o teorema de Pitágoras é verdadeiro, pois segundo Boyr (1974), Eves (1995) e Singh (1998), a relação pitagórica havia sido testada e comprovada em triângulos retângulos por diversas civilizações antigas.

Exemplos de equações do segundo tipo encontram-se anexadas ao desenvolvimento de estruturas pertencentes à Matemática aplicada, Física e Matemática. Esses tipos de equação têm a função de identificar conceitos referentes ao funcionamento do universo. Como, por exemplo, a Lei da Gravitação de Isaac Newton que demonstra a interação e dependência entre a força de atração existente entre dois corpos, suas massas e distância entre eles. A resolução da equação da Lei da Gravitação e suas resultantes nos fornece, por exemplo, os padrões que existem na movimentação dos planetas na órbita de suas estrelas, dos sistemas em torno das galáxias e das galáxias em torno umas das outras no cosmos. Essa Lei não se apresenta como um teorema matemático, pois sua veracidade se dá por razões físicas devido as evidências observacionais. Justamente, por não ser um teorema matemático, não é considerado algo definitivo. E esse se mostra um dos principais fatores para que Einstein tenha aprimorado a Lei da Gravitação com sua Teoria Geral da Relatividade, segundo a qual, algumas observações se mostram mais precisas do que as ideias de Newton. O que permitiu também que essas ideias ainda sejam utilizadas onde funcionam de forma viável.

Outros exemplos de equações do segundo tipo são as equações de Maxwell, que esboçou uma maneira de descrever o que era conhecido a respeito de eletricidade e magnetismo na sua época, um método para resumir e descrever com perícia todas essas experiências com fios, correntes e ímãs. Abaixo estão as quatro equações que Maxwell formulou para o comportamento da eletricidade e do magnetismo na matéria:

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \rho/\epsilon_0 \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (2)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (3)$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \mu_0 \mathbf{J} \quad (4)$$

Onde E e B representam os campos elétrico e magnético. O triângulo “∇”, chamado nabla (por causa de sua semelhança com uma antiga harpa do Oriente Médio), expressa como os campos elétrico ou magnético variam no espaço tridimensional. O produto indicado pelo ponto “·” e o produto indicado pelo “×” depois dos nablas são declarações de dois tipos diferentes de variação espacial.  $\frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$  e  $\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$  representam a taxa de variação no tempo dos campos elétricos e magnéticos. “J” corresponde a densidade de corrente elétrica. A letra grega minúscula ρ (rho) representa a densidade das cargas elétricas, enquanto  $\epsilon_0$  (pronunciado epsilon zero.) e  $\mu_0$  (pronunciado mi zero.) não são variáveis, mas propriedades do meio no qual os campos E e B se propagam. No vácuo,  $\epsilon_0$  e  $\mu_0$  são constantes da natureza. Considerando o número de quantidades diferentes que são reunidas nessas equações, é impressionante que sejam tão simples. Podiam ter continuado por páginas a fio, mas não o fazem. Descrevendo de maneira simples e qualitativamente a primeira das quatro equações de Maxwell, também chamada de lei de Gauss, estabelece como um campo elétrico criado por cargas elétricas (elétrons, por exemplo) varia com a distância, tornando-se mais fraco quanto mais nos afastamos dele. Por outro lado, quanto maior a densidade de carga (quanto mais elétrons, por exemplo, num determinado espaço) mais forte é o campo. A segunda equação, chamada de lei de Gauss para o magnetismo, nos informa que não há nenhuma declaração comparável no magnetismo, porque as cargas magnéticas (ou unipolares magnéticos) não existem: serre-se um ímã ao meio e não se obterá um polo norte isolado e um polo sul isolado; cada pedaço terá os seus próprios polos norte e sul coexistindo. A terceira equação, chamada lei de Ampère, nos diz como um campo magnético variável induz a um campo elétrico. A quarta, chamada lei de Faraday descreve o inverso, ou seja, como um campo elétrico variável (ou uma corrente elétrica) induz o surgimento de um campo magnético.

“As equações são mais importantes para mim, porque a política é para o presente, mas uma equação é algo para a eternidade”. (Einstein, 2017). O descobridor das teorias da relatividade restrita e geral foi Albert Einstein, nasceu em Ulm, na Alemanha, em 1879, porém no ano que se sucedeu, sua família se deslocou para Munique, local onde o seu pai, Hermann, e o seu tio, Jakob, deram início a uma pequena e não muito bem-sucedida empresa de equipamentos elétricos. Einstein não aparentava ser era nenhum menino prodígio, no entanto as afirmações de que se saía mal no que diz respeito a sua vida escolar parecem exageradas além de inversíssimas. A empresa de seu pai falhou e a família mudou-se para Milão em 1894. Sua família se mudou, porém, seus pais decidiram que ele deveria permanecer em Munique para concluir seus estudos, entretanto o rapaz não se agradou com

o autoritarismo do colégio e meses depois deslocou-se ao encontro da família na Itália. Tempos depois, em 1900, completou seus estudos em Zurique, formando-se na prestigiosa Escola Politécnica Federal, conhecida como ETH. A natureza contenciosa de Einstein e seu desprezo pela autoridade não lhe renderam os apreços e os prestígios dos professores na ETH, tanto é que nenhum deles lhe ofereceu um cargo de assistente, que seria o caminho normal para uma carreira acadêmica. Somente após dois anos, ele enfim conseguiu um cargo modesto no escritório suíço de patentes, em Berna. E foi exatamente nesse emprego que, em 1905, Einstein escreveu três artigos que não apenas o estabeleceram como um dos principais cientistas do mundo, mas também deram início a duas revoluções conceituais, que transformaram nossa compreensão do tempo, do espaço e da própria realidade (Hawking, 2016).

Segundo Sagan (2017), o jovem Einstein rebelou-se contra a noção de composições privilegiadas de referência na física tanto quanto o fez em relação à política. Para Einstein em um universo que se encontra cheio de estrelas movimentando-se desordenadamente em direções diversas, não havia nenhum local que estivesse realmente "em repouso", e nenhum referencial no qual a visão do universo fosse superior às outras. Este é o significado do termo relatividade. Essa é uma ideia bastante simples, no que diz respeito a sua filosofia: na visão do universo, cada local é tão bom quanto qualquer outro. E isso significa que as leis da Natureza são as mesmas, não importa quem as esteja escrevendo. Se isto é verdadeiro então ninguém consegue viajar mais rápido do que a luz. Essa nova maneira de pensar o ajudou a romper com o conceito de espaço tempo absoluto. E assim surgiu a Teoria da Relatividade.

Dra. Sonia Fernández-Vidal conta no livro Einstein para distraídos de 2015, sobre “O ano milagroso”. Foi como ficou conhecido o ano de 1905. Albert Einstein, que na época ocupava o cargo de técnico de terceira classe de um escritório de patentes localizado na Suíça, publicou quatro artigos que revolucionariam as formas como os físicos entendem o cosmos. Ainda que a nossa experiência mostre que o tempo transcorre de forma similar em qualquer situação – os ponteiros do relógio, por exemplo, demoram o mesmo tempo para percorrer o espaço de uma hora aqui e no Japão –, agora temos o conhecimento de que o tempo e o espaço são conceitos relativos. E que coisas peculiares ocorrem quando nos aproximamos cada vez mais da velocidade da luz. Descobrimos que quanto mais rápido nos deslocamos, mais devagar o tempo passa. Para uma pessoa que se encontra em movimento, o tempo é mais lento do que para alguém que se encontra parado. E isso ocorre com todos os tipos de “relógios”, inclusive o nosso relógio biológico, o coração.

Segundo Percy (2015), no ano milagroso, Einstein ainda desenvolveria a equação mais famosa da história da Física –  $E = mc^2$  –, e, provavelmente, a que mais aparece estampada em camisetas:  $E = mc^2$ . A energia é igual à massa multiplicada pela velocidade da luz ao quadrado.

Uma simples equação, porém, suas aplicações na indústria bélica foram devastadoras. A visão de que a massa pode se tornar uma fonte extremamente enorme de energia foi a base para a elaboração da bomba atômica – e as consequências disso perseguiram Einstein pelo resto da vida. Por isso, depois das primeiras explosões, ele disse a célebre frase: “Se soubesse sobre a bomba, eu teria sido um relojoeiro”. Essa experiência dramática reforçou sua forma de pensar pacifista, mais ainda em seus últimos anos de vida.

As contribuições deste cientista brilhante não se limitaram à relatividade. Sua visão completamente inovadora sobre a natureza da luz se tornaria o ponto de partida para a criação da física quântica, uma das teorias modernas que mais colocam em xeque nossa lógica e nosso senso comum.

Conforme detalha Sagan (2017), com a leitura de um livro de Bernstein chamado Livro Popular da Ciência Natural, Einstein tinha ficado fascinado. O livro consistia em uma popularização da ciência que retrata em sua primeira página a incrível velocidade da eletricidade por meio dos fios e a da luz no espaço. Perguntou-se como seria o mundo se pudéssemos viajar em uma onda de luz. O pensamento de viajar com a velocidade da luz é uma ideia atraente e mágica para um rapaz caminhando nos campos salpicados e enfeitados pela luz solar. Não podemos dizer se estamos em uma onda de luz se viajarmos nela. Se iniciarmos na crista da onda, continuaremos nela e perderemos a noção de que é uma onda. Algo de extremamente estranho ocorre na velocidade da

luz. Quanto mais Einstein refletia sobre o assunto, mais complexo ele se tornava. Os paradoxos pareciam emergir de todos os lados se pudéssemos viajar com a velocidade da luz. Algumas ideias tinham sido aceitas como verossímeis sem uma reflexão cuidadosa. Einstein elaborou questões simples que poderiam ter sido respondidas séculos antes. Por exemplo, o que queremos dizer quando mencionamos que dois eventos são simultâneos?

Imagine que um indivíduo A está dirigindo uma bicicleta na direção de um indivíduo B. À medida que o indivíduo A aproxima de um cruzamento, quase colide, com algo que assim me parece, com uma carroça. O indivíduo A desvia e tenta evitar ser atropelado. Pensemos novamente sobre o evento e imaginemos que a carroça (indivíduo B) e a bicicleta (indivíduo A) estão ambas se deslocando em uma velocidade próxima à da luz. Se você estiver mais além na estrada, a carroça estará em ângulo reto com a sua linha de visada. O indivíduo B me vê, pela luz do Sol refletida, que se dirige na sua direção. Será que a minha velocidade adicionada à da luz não faria a minha imagem chegar a você consideravelmente antes da imagem da carroça? Será que você não me verá desviando antes de ver a carroça chegar? Poderem o indivíduo B e o indivíduo A se aproximarem do cruzamento simultaneamente do ponto de vista do indivíduo A, mas não do indivíduo B? Poderia o indivíduo A experimentar uma colisão imediata com o indivíduo B, enquanto o indivíduo B talvez o indivíduo A veja desviando do nada e pedalar alegremente em direção à cidade de Vinci? São perguntas curiosas e sutis. Desafiam o óbvio. Há uma razão para ninguém ter pensado nelas antes de Einstein. Partindo destas perguntas elementares, ele produziu uma reformulação fundamental do mundo, uma revolução na física. (Sagan, 2017)

Sagan (2017) reforça que para o mundo ser compreendido de forma acurada, teremos que evitar estes paradoxos lógicos quando viajamos em grandes velocidades, havendo certas regras e ordens da Natureza que devemos e somos obrigados a obedecer. Einstein compilou estas regras na teoria da relatividade especial. A luz, seja ela refletida ou emitida de um objeto, viaja com a mesma velocidade, independente se o objeto é considerado estacionário ou está se movendo: Não se deve acrescentar ou adicionar a velocidade do objeto à da luz. Outra regra é que nenhum objeto material tem o poder de mover-se mais rapidamente do que a luz: Não se deve (e não se pode) viajar na ou além da velocidade da luz. Não há restrições na física que evitem que você possa viajar próximo da velocidade da luz se você assim o desejar (99,9% desta velocidade será ótimo). O décimo que falta jamais será alcançado, não importa o quanto você lute. Para que nossa realidade seja logicamente consistente, é necessário que haja um limite de velocidade cósmica. Por outro lado, você pode atingir a qualquer velocidade desejada adicionando velocidades em uma plataforma móvel.

Com a publicação do artigo de Einstein de 1905, ficou evidente a impossibilidade da viagem no tempo para o passado. Além de sugerir que a viagem espacial para outras estrelas seria um processo lento e tedioso. Se não pudéssemos viajar mais rápido que a luz, um bate e volta para a estrela mais próxima de nós levaria, no mínimo, oito anos. Se quiséssemos viajar ao centro da galáxia, seriam necessários cerca de 50 mil anos. Se a espaçonave chegasse muito perto da velocidade da luz, poderia parecer para as pessoas a bordo que a viagem ao centro da galáxia levaria apenas alguns anos. Porém isso não seria de grande consolo se todas as pessoas (amigos e familiares) que você conhecesse estivessem mortos e enterrados há milhares de anos quando retornasse. Tampouco seria de quando proveito para a ficção científica, assim os escritores tiveram de encontrar maneiras de contornar essa dificuldade. (Hawking, 2016)

Segundo Feynman (1963), enquadra-se como um dos mais notáveis efeitos previstos pela Teoria da Relatividade Restrita (daqui em diante designada TRR) que um corpo extenso quando em movimento retilíneo uniforme terá seu comprimento, no sentido do movimento, reduzido de um fator que depende de sua velocidade naquela direção. Einstein previu isso por meio das Transformações de Lorentz (TL). Dessa maneira, utilizando as TL, temos:

$$L = L_0 \left[ 1 - \left( \frac{v}{c} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5)$$

Em que  $L_0$  é o comprimento do corpo quando medido por um observador em repouso em relação a ele,  $L$  é o comprimento do corpo medido pelo observador que se move com velocidade  $v$  em relação a ele e  $c$  é a velocidade da luz no vácuo.

Segundo Russel (2005), outro efeito consideravelmente importante é o da dilatação do tempo, que pode ser entendida como a mudança na medida de intervalos de tempo entre dois eventos no momento em que esses são medidos em dois distintos referenciais em movimento retilíneo uniforme entre si. Tomemos como exemplo o período de um pêndulo: se quando medido em um referencial em repouso em relação ao próprio pêndulo o período for  $T_0$ , quando este mesmo período for medido em um referencial com velocidade  $v$ , teremos como resultado:

$$T = T_0 \left[ 1 - \left( \frac{v}{c} \right)^2 \right]^{-1/2} \quad (6)$$

No qual  $T$  é o período medido pelo observador em movimento em relação ao pêndulo.

A equação física  $E=m.c^2$ , quer dizer que em um sistema, a energia é igual à massa do objeto observado multiplicada pelo quadrado da velocidade da luz no vácuo. A velocidade da luz no vácuo corresponde a 299.792.458 m/s, um valor que por si só já é alto, quando elevado ao quadrado então, torna-se bem mais extenso.

É a mais famosa equação em todas as esferas da ciência. Em 1905, a fórmula  $E=m.c^2$  chegou ao conhecimento do público quando Einstein publicou sua teoria da relatividade restrita. De acordo com ela, energia ( $E$ ) é equivalente a massa ( $m$ ). Para calcular quanta energia está armazenada em um corpo material qualquer, deve-se multiplicar o valor da massa pela velocidade da luz ao quadrado ( $c^2$ ).

Com a Teoria da Relatividade Restrita, Albert Einstein vai além de trabalhos como o de Ole Romer no que diz respeito a explicação das propriedades e comportamento da luz. Einstein não só determina que existe um limite de propagação da luz, mas também descreve que há um limite de propagação cósmica. Nenhum objeto ou corpo pode se deslocar no espaço sideral mais rapidamente do que a luz, e essa ideia é um resultado natural da equação  $E=m.c^2$ . Quanto mais velozmente um corpo se move significa que mais energia ele tem. Porém como a equação nos descreve que ganhos de energia são também ganhos de massa, pois  $c^2 = E/m$  (ou seja, massa e energia são grandezas diretamente proporcionais, de aumentarmos um em uma unidade também aumentamos o outro em uma unidade). Podemos concluir que quanto mais rapidamente um corpo se movimenta no espaço em que ocupa, mais pesado ele fica. Corpos mais pesados são mais difíceis de se mover, portanto requerem mais energia para aumentar sua velocidade. No entanto, quando se movimentam com mais rapidez voltam a ficar mais pesados. Com o passar de um determinado tempo um corpo que se movimenta no espaço com uma enorme velocidade fica tão pesado que haveria a necessidade de uma quantidade infinita de energia para fazê-lo mover-se mais rapidamente. O limite desse aumento é a velocidade da luz. (Stuart, 2018)

Conforme citado em Stewart (2012), um quilograma de matéria tem capacidade para liberar 40% da energia na maior arma nuclear já explodida. Esse é um dos fatores que tornam essa equação uma mudança drástica no cenário que conhecíamos de tempo, espaço, gravidade e matéria.

“Se é para entender o mundo, se é para evitar paradoxos lógicos quando se viaja em altas velocidades, deve haver algumas regras, mandamentos da natureza que devem ser obedecidos. Einstein codificou essas regras na Teoria Especial da Relatividade. A luz (refletida ou emitida) de um objeto viaja à mesma velocidade, esteja o objeto em movimento ou estacionário: Não somarás tua velocidade à velocidade da luz. Além disso, nenhum objeto material deve se locomover mais rápido do que a luz: não viajarás à, ou além da, velocidade da luz. Nada na Física impedi que você viaje tão próximo quanto queira da velocidade da luz; poderia chegar a até 99,9 % da velocidade da luz. Porém, por mais que se esforce, nunca conseguirá conquistar esse último ponto decimal. Para que o mundo seja consistente em termos lógicos, tem de haver um limite de velocidade cósmica. Não fosse assim, seria possível chegar a qualquer velocidade que se quisesse somando velocidades numa plataforma em movimento”. (SAGAN, 1980)

“Acredita-se amplamente que esta equação tenha levado à invenção das armas nucleares, que é consequência da teoria da relatividade de Einstein, e que essa teoria (obviamente) tem algo a ver com várias coisas serem relativas. Na verdade, muitos relativistas sociais entoam alegremente que “tudo é relativo”, e pensam que isso tem algo a ver com Einstein”. (STEWART, 2012)

O desenvolvimento científico pode apresentar consequências consideradas positivas e negativas. Positivas, quando em relação ao estudo de buracos negros, sobre a origem do Universo (Big-Bang) ou sistemas de navegação por satélite, por exemplo. Negativas, quando se fala em eventos envolvendo armas nucleares. Segundo Sagan (2017) “As bombas que destruíram Hiroshima e Nagasaki –todo mundo já leu sobre elas, sabemos um pouco do que fizeram- mataram cerca de 250 mil pessoas, sem distinção de idade, sexo classe social ou ocupação ou qualquer outra coisa”.

De acordo com Stewart (2012), hoje os computadores conseguem extrair equações que apresentam grandes conjuntos de dados, em situações onde verifica-se falha humana. Quando isso ocorre, ou seja, equações se tornando tão complicadas, a ponto de seres humanos não conseguirem resolver, a raça humana desenvolver tecnologias superiores.

A Teoria da Relatividade Geral ainda está incompleta, na medida em que só foi capaz de aplicar satisfatoriamente o Princípio da Relatividade Geral, mas não ao campo total. Ainda não sabemos com certeza por meio de que mecanismo matemático, o campo total no espaço deve ser descrito e a que leis invariantes gerais esse campo total está sujeito. Uma coisa, contudo, parece certa: o princípio da relatividade geral irá provar-se uma ferramenta necessária e eficaz para a solução do problema do campo total”. (Einstein, 2017)

## 5. Conclusão

Com a pesquisa bibliográfica pôde-se estabelecer vínculos e relações intrínsecas existentes entre Matemática e Física, demonstrando conexões entre as duas áreas do conhecimento. Notou-se também que a revisão bibliográfica pode oferecer suporte como material de apoio a Professores de Física e Matemática. Não entendemos nosso universo por completo e temo que não haja essa possibilidade, porém podemos chegar próximos da compreensão com modelos matemáticos e equações, assim como um objeto em movimento pode chegar próximo as velocidades mais altas do cosmos, nunca igual ou superior, apenas próximo o suficiente para conhecermos a imensidão que nos circunda.

## Referências

- Boyer C. B. (1974) *História da matemática*. São Paulo: Edgard Bluchar.
- Einstein A. (2017) *Meus últimos anos: os escritos da maturidade de um dos maiores gênios de todos os tempos*. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira.
- Eves H. (1995). *Introdução à História da matemática*. Campinas: Editora da Unicamp.
- Feroni, R.C., Andreão, W.L. & Galvão, E.S. (2016). *Proposta de interdisciplinaridade entre matemática e física resultando na aprendizagem contextualizada*, Anais do VII Encontro Científico de Física Aplicada, São Paulo: Blucher.
- Feynman R.P., Leighton R.B. & Sands M. (1963). *The Feynman Lectures on Physics*. Massachussets: Addison Wesley Reading.
- FUNAG. (2016) *Estatísticas para o estudo das relações internacionais*. Brasília: FUNAG.
- Hawking, S. (2016). *O Universo numa casa de noz*. Rio de Janeiro: Intrínseca.
- James, K., Anzai, N., Sanchez, L. & Hickman, H. (1992). *Analog device for Lorentz calculations*. *The Physics Teacher*, 30 (464). <https://doi.org/10.1119/1.2343610>
- Karam, R.A.S. (2007) Matemática como estruturante e Física como motivação: uma análise de concepções sobre as relações entre matemática e física. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 6, 2007, Florianópolis. Anais... Rio de Janeiro: Abrapec.
- Paty, M. (1995) *Matéria roubada*. Edusp-São Paulo.
- Percy, A. (2015). *Einstein para distraídos*. Rio de Janeiro: Sextante.
- Pietrocola, M. (2002) *A matemática como estruturante do conhecimento físico*. Departamento de Física – UFSC, Florianópolis – SC.
- Pietrocola, M. (2002) Linguagem e estruturação do pensamento na ciência e no ensino de ciência. *Filosofia, Ciências e História: uma homenagem aos 40 anos de colaboração de Michel Paty com o Brasil*. São Paulo: Discurso Editorial, 2005. p. 467-485. matemática como estruturante do conhecimento físico. Departamento de Física – UFSC. Florianópolis – SC.
- Russel, B. (2005) *ABC da Relatividade*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editora.
- Sagan, C. (2008). *Variedades da experiência científica: uma visão pessoal por Deus*. São Paulo: Companhia das Letras.
- Sagan, C. (2017). *Cosmos*. São Paulo: Companhia das Letras.
- Silva, O.H.M. da. (2017) *Matemática e Física: aproximações*. Curitiba: Intersaberes.
- Singh, S. (1998). *O último teorema de Fermat*. Rio de Janeiro: Record.
- Stewart, I. (2012). *Dezessete equações que mudaram o mundo*. Schlessinger. Editora Zahar.
- Stuart, C. (2018). *A história do universo para quem tem pressa*. Rio de Janeiro: Valentina.